

## PROPERTIES OF AUSTENITIC NICKEL CAST IRONS AT MANUFACTURE OF HEAVY CASTINGS

### VLASTNOSTI AUSTENITICKÝCH NIKLOVÝCH LITIN PŘI VÝROBĚ MASIVNÍCH ODLITKŮ

J.ČECH<sup>1</sup>, V. KAŇA<sup>2</sup>, J. ŠENBERGER<sup>3</sup>, A. ZÁDĚRA<sup>4</sup>

**ABSTRACT:** Manufacture and properties of high-alloy nickel cast irons. Structural and mechanical properties of nickel cast irons. Reclamation welding and machinability of castings from high-alloy nickel cast irons. Use of heat treatment for austenitic cast irons.

**KEY WORDS:** austenitic nickel cast irons, Ni-resist

**KLÍČOVÁ SLOVA:** austenitické niklové litiny, Ni-resist

## 1 ÚVOD

Austenitické niklové litiny (ANL) jsou zajímavým materiálem pro slévárny jak oceli tak litiny. V odborné literatuře je celá řada publikací věnovaných vlastnostem ANL. Většinou se jedná o vlastnosti zjištěné na malých vzorcích nebo u odlitků s malou tloušťkou stěn. Údaje o vlastnostech ANL odlitých do masivních odlitků bylo však nutné doplnit. Během výzkumu byly odlévány klíny Y- 2 až Y- 4 a to jak separátně lité tak i přilité k odlitkům. Sledování bylo zaměřeno na niklové austenitické litiny s kuličkovým grafitem a to značky podle EN-GJSA-XNi22, EN-GJSA-XNiCr22 2, a EN-GJSA-XNiSiCr-35 5 2. Tyto materiály odpovídají přibližně značkám v normě ASTM D-2C, D-2 a D-5S. Tři tavby byly odlity na 6t elektrické obloukové peci (provozní tavby), 8 taveb bylo odlito na 40 kg a 1 tavba na 250 kg elektrické indukční peci (poloprovozní tavby).

## 2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ TAVEB

Chemické složení taveb vyrobených na elektrické obloukové peci je uvedeno v **Tab. 1**. Interval prvků v tavných vyrobených na indukční peci je uveden v **Tab. 2**

**Tab.1** Chemické složení taveb vyrobených na zásadité elektrické obloukové peci v [hmot. %]

Značka	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mg
EN-GJSA-XNi22 (D-2C)	2,78	2,1	1,35	0,030	0,002	0,07	21	0,05
EN-GJSA-XNiCr22 2 (D-2)	2,6	1,05	1,6	0,035	0,01	1,8	19,5	0,04
EN-GJSA-XNiSiCr-35 5 2 (odpovídá přibližně D-5S, vyjma %Si)	1,85	0,9	4,3	0,020	0,008	1,8	34	0,06

<sup>1</sup> Ing. Jan Čech – ŽdAS a.s.

<sup>2</sup> Ing. Václav Kaňa – FSI, VUT v Brně, ÚST, odbor slévárenství

<sup>3</sup> doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc – FSI, VUT v Brně, ÚST, odbor slévárenství

<sup>4</sup> Ing. Antonín Záděra, Ph.D. – FSI, VUT v Brně, ÚST, odbor slévárenství

**Tab.2** Interval prvků v tavbách vyrobených na indukční peci v [hmot. %]

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mg
MIN.	1,86	0,35	0,9	0,02	0,004	0,67	16	0,023
MAX.	3,12	1,3	5,5	0,04	0,012	2,00	33	0,11

### 3 HODNOCENÍ STRUKTURY NA ODLITÝCH KLÍNECH

#### 3.1 Hodnocení makrostruktury

Makrostruktura byla hodnocena na vzorcích 75x150 mm odebraných z klínů Y-4. Velikost austenitických zrn byla 5 až 15 mm. Na vzorcích nebyly pozorovány řediny ani jiné vady. Podobně ani na vzorcích odebraných z odlitků nebyly pozorovány dutiny.

#### 3.2 Hodnocení mikrostruktury

Mikrostruktura litina byla tvořena austenitem, kuličkovým grafitem a u značek legovaných chromem karbidy. Velikost grafitu byla jen velmi málo ovlivněna tloušťkou stěny, ze které byl vzorek odebrán. Velikost grafitu byla hodnocena podle ČSN 420461 etalonové řady 3, třídou velikosti 5 až 8. Hrubý grafit nebyl pozorován ani ve vzorcích odebraných z odlitků. U grafitu byla pozorována tendence zmenšování velikosti kuliček grafitu s rostoucím obsahem křemíku.

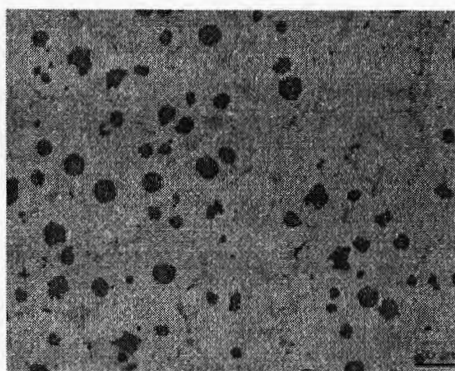
Tvar grafitu byl hodnocen jako pravidelně zrnitý z 80 až 100%. Pozornost byla dále zaměřena na výskyt chunky grafitu ve struktuře. Na dosažení kulovitěho tvaru grafitu působí příznivě vyšší obsah uhlíku. Vznik chunky grafitu podporuje vyšší obsah niklu a křemíku. Na vyloučení kuličkového grafitu dále nepříznivě působí také rostoucí doba chladnutí. Vzájemný vztah mezi C, Ni a Si pro odlitky s dobou chladnutí kratší než 40 minut uvádí vzorec (1) [1].

$$\%C + 0,2 \cdot \%Si + 0,06 \cdot \%Ni < 4,4\% \quad (1)$$

Jestliže je na pravé straně vzorce číslo větší než 4,4, je vznik chunky grafitu velmi pravděpodobný. Uvedený vzorec nezohledňuje vliv doprovodných prvků. Přítomnost Ce a Ca může rovněž vyvolat vznik chunky grafitu. Pro všechna chemická složení vyrobených taveb bylo vypočteno kritérium uvedené v rovnici (1). Chunky grafit byl pozorován u odlitých klínů pouze v jednom místě jednoho klínu (odlito bylo více než 30 klínů). Zjištěn nebyl ani v těch případech, kdy byla hodnota kritéria (1) významně překročena. Ve vyrobených odlitcích se však chunky grafit vyskytoval v místech pod nálitky. Velikost objemů kovu v odlitcích, ve kterých se vyskytoval chunky grafit nekorelovala s hodnotou kritéria uvedeného v rovnici (1). Platnost kritéria pro hodnocení vlivu chemického složení na výskyt chunky grafitu tak nebyla potvrzena. V odlitcích se vyskytoval chunky grafit v místech, kde se předpokládalo tuhnutí kovu s největší reoxidací. Ve struktuře litiny s chunky grafitem byly pozorovány ve velké míře vměstky MgO. Podobně ve filtrech v místech s produkty reoxidačních pochodů ve vyskytoval chunky grafit.

Chrom na sebe v litině váže uhlík a tím snižuje množství grafitu v litině. V důsledku nižší grafitické expanze vznikají větší staženiny a je tedy nutné odlitky z litin legovaných chromem více nálitkovat. Koncentrace chromu, při které se začne vylučovat karbid chromu, závisí na složení mezibuněčné taveniny. Prvky, které snižují aktivitu chromu a uhlíku, potlačují vznik karbidů a zvyšují rozpustnost chromu v matici.

Karbidy chromu ve struktuře snižují tažnost a pokud se obsah chromu zvyšuje, tak se tvorba karbidů mění z původně nesouvislého síťoví na síťoví kontinuální. Ve všech tavbách legovaných chromem byla volena jeho koncentrace tak, aby nevznikalo souvislé karbidické síťoví. Typická struktura austenitické niklové litiny legované Cr je uvedena na obr.1. Přísada chromu zvyšuje korozivzdornost, pokud je však chrom rozpuštěn v matici. Chrom vázaný na karbidy nemá na korozivzdornost významný vliv. Karbidy dále zvyšují tvrdost litiny.



Obr. 1 - Struktura austenitické Ni litiny

## 4 DOSAŽENÉ MECHANICKÉ HODNOTY

### 4.1 Výsledky statické zkoušky v tahu za pokojové teploty

U všech zkušebních tyčí byly dosaženy hodnoty pevnosti, smluvní meze kluzu a tažnosti, které vyhovovaly normě pro značku EN-GJSA-XNiCr22 2. Výsledné mechanické hodnoty z provozních taveb jsou uvedeny v Tab.3.

Tab. 3 Průměrné hodnoty statické zkoušky v tahu u provozních taveb

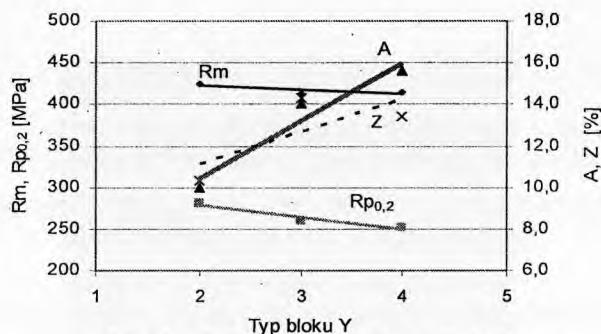
Značka	Normované hodnoty			Naměřené hodnoty*		
	Rm [MPa]	Rp <sub>0,2</sub> [MPa]	A [%]	Rm [MPa]	Rp <sub>0,2</sub> [MPa]	A [%]
EN-GJSA-XNi22 (D-2C)	370	170	20	429	234	28,1
EN-GJSA-XNiCr22 2 (D-2)	370	210	7	406	Re=270	9,4
EN-GJSA-XNiSiCr-35 5 2 (D-5S)	370	210	10	383	221	21,7

\* Pro klíny Y4

U ostatních taveb se průměrná hodnota meze pevnosti pohybovala od 424,6 MPa u klínu Y-3 a od 414,6 u klínu Y-2. Nejvyšší průměrná smluvní mez kluzu byla zjištěna u klínu Y-2, a to 280,2 MPa, a nejnižší u klínu Y-4, a to 252,2 MPa. Tažnost byla naopak zjištěna nejvyšší u klínu Y-4, a to 15,6 %, a nejnižší u klínu Y-2, a to 10,0 %.

Oproti očekávání se zvyšovala tažnost a kontrakce s rostoucí tloušťkou síly stěny. Pevnostní vlastnosti s rostoucí tloušťkou stěny klesaly. Nepřímou korelaci mezi pevnostními vlastnostmi, zejména mezi kluzu a tloušťkou stěny odlitku lze vysvětlit rychlostí chladnutí. U klínů Y-2 chladl kov nejrychleji a austenit mohl být za těchto podmínek přesycen uhlíkem. U klínů s větší tloušťkou stěny (Y-3 a Y-4) bylo v důsledku pomalého chladnutí v austenitu méně uhlíku, což se mohlo projevit nižší mezí kluzu a vyšší tažností. Tepelným zpracováním lze zvýšit pevnost při současném snížení tažnosti nebo naopak. Schematické znázornění vlivu tloušťky stěny na vlastnosti litiny je uvedeno na obr. 2.

Celkem bylo provedeno 34 zkoušek pevnosti v tahu. U všech zkoušek, vyjma jedné (slévárenská vada ve zkušební tyči) vyhověla mez pevnosti, smluvní mez kluzu vyhověla u všech zkoušek. Tažnost nevyhověla u dvou zkušebních tyčí v důsledku slévárenských vad.

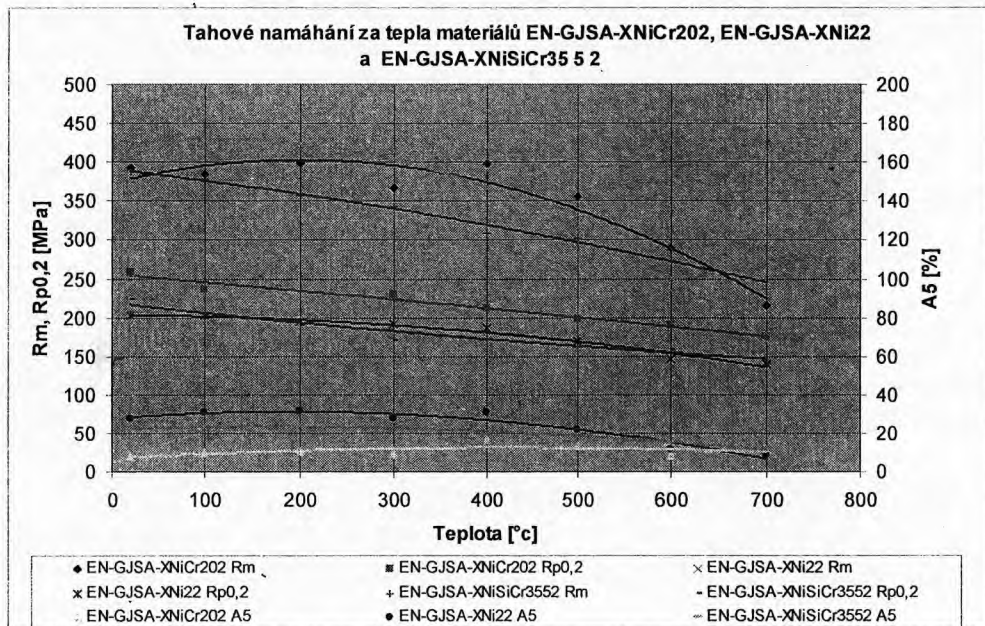


**Obr.2** - Schematické znázornění vlivu tloušťky stěny na mechanické vlastnosti

#### 4.2 Výsledky statické zkoušky v tahu za zvýšené teploty

Z pohledu předpokládané výroby odlitků pro energetiku, byly zjištěny mechanické vlastnosti za tepla do teplot 700 °C. Zkoušky byly provedeny v laboratořích ŽĐAS a.s. a výsledky jsou uvedeny níže v grafu na **obr. 3**.

Jak vyplývá z **obr.3** je podle očekávání pevnost a mez kluzu s rostoucí teplotou u materiálu EN-GJSA-XNi 22 nižší než u materiálu EN-GJSA-XNiCr 20 2, což je dáno absencí karbidů chrómu u materiálu EN-GJSA-XNi22. Výraznější pokles mechanických vlastností u obou materiálů je zřejmý až po překročení teploty cca 500 °C. U materiálu EN-GJSA-XNiSiCr-35 5 2 s nejvyššími obsahy niklu docházelo k pomalejšímu poklesu pevnosti s rostoucí teplotou a při teplotě 700 °C měl nejvyšší hodnotu meze pevnosti. Průběh změny meze pevnosti i meze kluzu s teplotou byl u materiálů vyrobených v rámci projektu ve slévárně ŽĐAS a.s. srovnatelný s průběhem uvedeným v literatuře. Podobně závislost tažnosti na teplotě u značek s obsahem Ni cca 20% byl srovnatelný s literaturou. U značky s vyšším obsahem niklu nebyly pro závislost tažnosti na teplotě v odborné literatuře nalezeny žádné údaje.



**Obr. 3** - Základní mechanické charakteristiky vybraných materiálů v závislosti na teplotě.

### 4.3 Creepové vlastnosti ANL

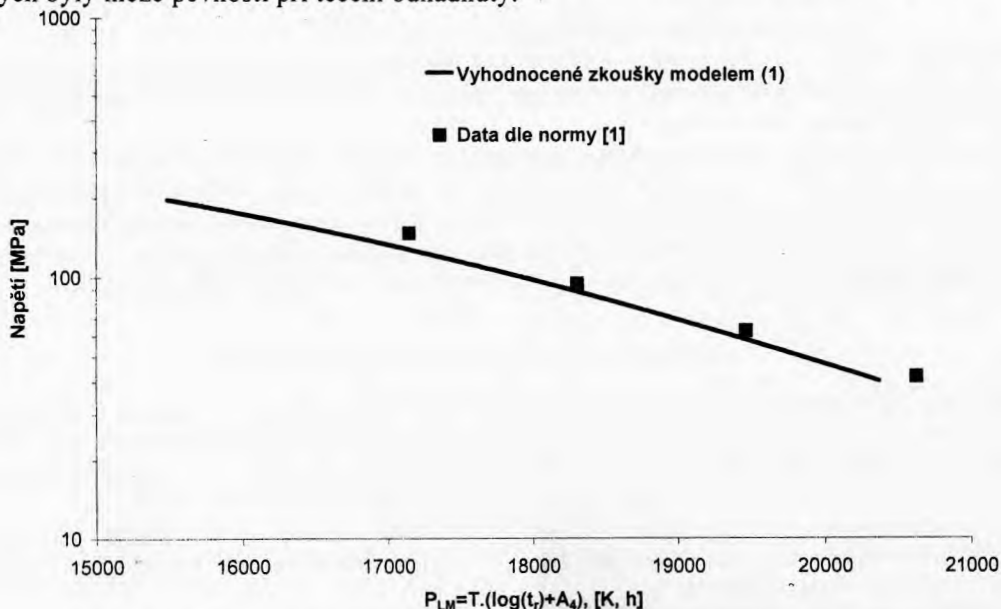
Z kýlového bloku tloušťky 75mm a materiálu EN-GJSA-XNi22 (ASTM A 439 D-2C) bylo vyrobeno 16 ks válcových polotovarů Ø18x75 mm. Tento materiál byl v litém stavu a byl určen pro zkoušky tečení v tepelně nezpracovaném stavu. Z těchto polotovarů pak byly vyrobeny tyče s měrným průměrem 6 mm a délkou 30mm [2].

Creepové zkoušky probíhaly za stálého zatížení na vzduchu v rozmezí teplot 500-700°C a napětí 45-180 MPa. Součástí creepových experimentů byl záznam časové změny deformace. Na základě těchto zkoušek byla nejprve vyhodnocena závislost napětí na Larson-Millerově parametru ( $P_{LM}$ ) podle regresního modelu:

$$\log \sigma = A_1 + A_2 P_{LM} + A_3 P_{LM}^2 \quad (2)$$

$P_{LM} = T \cdot (\log(t_r) + A_4)$ ,  $\sigma$  je napětí [Mpa],  $T$  je teplota [K],  $t_r$  je doba do lomu [h],  $A_1 - A_4$  jsou materiálové konstanty.

Výsledky creepových zkoušek hodnocené litiny EN-GJSA-XNi22 byly porovnány s daty meze pevnosti při tečení podle normy ČSN EN 13835 (viz. obr. 4). Je zřejmé, že závislost meze pevnosti při tečení je téměř shodná, přičemž hodnoty z normy jsou nevýrazně vyšší. Mírné odchylky mohou být způsobeny rozdílnými experimentálními programy, na základě kterých byly meze pevnosti při tečení odhadnuty.



Obr. 4 - Porovnání vyhodnocené pevnosti při tečení sledované litiny s normou.

Detailní výsledky a závěry i s porovnáním s ocelovými materiály pro energetiku jsou zpracovány ve zprávě [2].

## 5 VLIV TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ NA VLASTNOSTI ANL

Ověření tepelného zpracování bylo zaměřeno zejména na ovlivnění vlastností litiny změnou morfologie karbidů. Dále se předpokládalo, že po tepelném zpracování selepší homogenita litiny a průchodnost ultrazvukových vln. Tepelné zpracování bylo ověřováno jednak na odlitých blocích z poloprovozních taveb a jednak na odlitcích z provozních taveb ve slévárně ŽDAS a.s.



## 5.1 Výsledky zkoušek s tepelným zpracováním ANL z poloprovozních taveb

Byly ověřeny dva režimy rozpouštěcího žíhání charakterizované teplotou výdrže a to:

- 950°C/ 6h / vzduch
- 1050°C/ 6h / vzduch

Lze konstatovat, že při výše uvedeném rozpouštěcím žíhání dochází k nárůstu pevnosti a poklesu tažnosti v důsledku vyšší ochlazovací rychlosti (omezená difúze uhlíku v austenitu). Tepelným zpracováním částečně dochází k přeměně destičkovitých karbidů na zakulacenější tvary a zvyšuje se také disperzita karbidů. To má příznivý vliv na průchodnost ultrazvukových vln, tj. na velikost útlumu, který se u vzorků po tepelném zpracování snižuje.

## 5.2 Výsledky zkoušek s tepelným zpracováním ANL z provozních taveb

Jako vzorky na tepelné zpracování byly použity desky SEW110 tj. bloky o rozměrech 55 x 200 x 400 mm určené na zkoušky opravného svařování. Odlití proběhlo v rámci zkušební tavby značky EN-GJSA-XNi Cr 22 2.

Ověřovaná tepelná zpracování v laboratorní peci:

- 1050°C/6h/vzduch
- 1050°C/6h/vzduch + 620°C/8h/pec
- 950°C/6h/vzduch
- 950°C/6h/vzduch + 620°C/8h/pec

Vzhledem k váze vzorků nebylo možné je vyjmát po ukončení prodlevy z pece. Proto ochlazování „vzduch” bylo prováděno úplným otevřením dvířek pece, ochlazování „pec” bylo prováděno otevřením dvířek o cca. 10°.

Tepelné zpracování mělo na výsledné mechanické hodnoty malý vliv. Průchod ultrazvuku vzorky se po TZ zlepšil. Tepelným zpracováním lze snížit rozsah šumu vyskytující se před koncovým echem. Tepelným zpracováním lze zlepšit průchodnost ultrazvukových vln a snížit tedy útlum. Nicméně průchodnost ultrazvukových vln austenitickou litinou je i po tepelném zpracování natolik nízká, že tento materiál není vhodný pro tento typ NDT zkoušek.

## 6 OPRAVNÉ SVAŘOVÁNÍ ODLITKŮ Z ANL

Pro opravné svařování byly provedeny zkoušky odlišnými postupy a různými elektrodami. Na základě těchto zkoušek byla zvolena jako nejvhodnější obalovaná elektroda OK 92.60. Opravy i velkých vad svařováním na odlitcích proběhly úspěšně. Dále bylo provedeno hodnocení vlivu opravného svařování na mechanické vlastnosti svarových spojů.

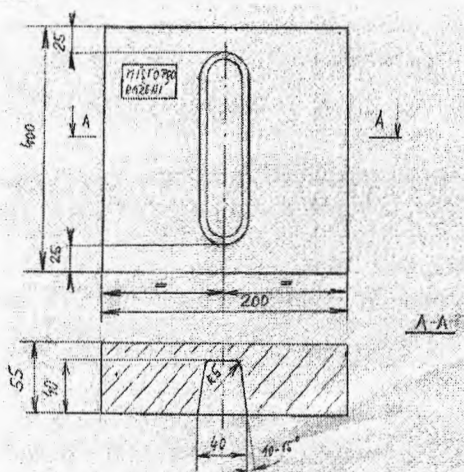
Pro vyhodnocení mechanických vlastností opravného svaru byla zvolena standardní metodika dle ASME IX, používaná pro oceli. Do zkušebních odlitků č.m. SEW 110 byly uměle vytvořeny vady podle obr. 5.

Vady byly na základě návrhů vzešlých ze zkoušek zavařeny třemi způsoby:

- První vada elektrodou OK 92.60
- Druhá vada drátem OK Tubrodur 15.66
- Třetí vada polštářována elektrodou OK 92.60 a zbytek drátem OK Tubrodur 15.66

Zavařené odlitky byly podrobeny RTG kontrole. Téměř bez vad (jen drobné póry v koncové oblasti sváru) byly svary při použití elektrody OK92.60. Více porozity se objevilo u svarů zhotovených drátem OK Tubrodur 15.66 (drážka vady byla úzká a oblouk hořel nestabilně). Nejhuře dopadla kombinace polštář elektrodou OK 92.60 a zbytek drátem OK Tubrodur 15.66, kde došlo téměř k oddělení obou svarů – důvodem byla opět nestabilita hoření oblouku při vaření drátem ve velmi úzké drážce. Pro další zkoušky drátem byl úhel drážky z zvětšen z 10-15° na cca 30°.

Zavařené odlitky byly rozřezány podle rozřezového plánu a byly vyhodnoceny po mechanické i metalografické stránce. Z každé desky byla vyhodnocena makrostruktura dle EN 1321, hodnocení případné vady, mikrostruktura v přechodové oblasti a současně s tím byly provedeny i ohybové zkoušky. Na vyrobených vzorcích byla dále provedena statická zkouška v tahu, zkoušky vrubové houževnatosti a měření tvrdosti dle ČSN EN ISO 6507-1. Svary byly dále podrobeny RTG kontrole.



**Obr. 5** - Rozměry zkušebního klínu SEW 110 a rozměry uměle vytvořené vady

#### *Materiál EN-GJSA-XNiCr202*

Téměř bez vad (jen drobné póry v koncové oblasti sváru) byly u obalované elektrody OK92.60. Lze konstatovat, že pro opravné zavařování odlitků z materiálu EN-GJSA-XNiCr202 je tato elektroda nejvhodnější. Její použití zajistilo dosažení nejvyšších hodnot mechanických vlastností svaru. Avšak ani tyto hodnoty, byť pouze těsně, nedosáhly minimální požadovanou pevnost základního materiálu v důsledku drobné porezity ve svaru. Po odstranění této porezity nebude splnění požadovaných minimálních pevností po opravném svařování činit žádné potíže. Jako zcela nevhodná se naopak jeví kombinace polštář elektrodou OK 92.60 a zbytek drátem OK Tubrodur 15.66, kde došlo téměř k oddělení obou typů svarů. Využití této kombinace ověřované především z ekonomických důvodů ( svařování drátem je levnější a rychlejší) je patrně vhodné pouze pro rozlehlé a nehluboké vady.

#### *Materiál EN-GJSA-XNi22*

Svařování bylo provedeno elektrodou OK92.60 a drátem OK15.66 s předeřevem, bez interpassu. Pro vyhodnocení mechanických vlastností opravného svaru byla zvolena standardní metodika dle ASME IX, používaná pro oceli. Do zkušebních odlitků č.m. SEW 110 byly uměle vytvořeny vady s tím, že pro svařování drátem Tubrodur byl zvětšen úkos vady na 30°. „Vady“ byly na základě návrhů vzešlých z předchozích zkoušek v projektu zavařeny dvěma postupy:

- První postup elektrodou OK 92.60, náhřev 150°C, bez interpassu
- Druhý postup drátem OK Tubrodur 15.66, náhřev 150°C, bez interpassu

Zavařené odlitky č.m. SEW 110 byly podrobeny RTG kontrole. Odlitky byly zcela bez vad. Svary byly po metalografické a defektoskopické stránce v pořádku, po stránce mechanické nedosáhly pevnosti základního materiálu. Proto byl navržen ještě další postup a to svařování elektrodou OK92.60 bez předeřevu, s interpassem do 100°C. Tvar svařovací drážky zůstal shodný jako v předešlém případě ověřování elektrody OK 92.60. Jedna polovina zkušební desky byla žháná pouze na odstranění pnutí, druhá polovina na 900°C/ 650°C/ pec. Na

vzorcích bylo dosaženo vyšších mechanických hodnot svaru oproti vaření bez interpassu, ale stále nebylo dosaženo pevnosti základního materiálu.

## 7 OBROBITELNOST ANL

Zkoušky byly zaměřeny na stanovení obrobitelnosti a výběr vhodného frézovacího nástroje ANL litin. Pro zkoušky obrobitelnosti byla použita svislá konzolová frézka FB 22V s otáčkami odstupňovanými v geometrické řadě  $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] = 1400 – 1120 – 900 – 710 – atd. a rychlosti posuvu odstupňovanými rovněž v geometrické řadě  $v_f$  [ $\text{mm min}^{-1}$ ] = 2000 – 1600 – 1250 – 1000 – atd. Stroj byl využíván na samé hranici svých možností. Řezné podmínky jsou definovány ve zprávě [3].

Opotřebení břitových destiček použitých fréz bylo měřeno pomocí speciálního zařízení přímo na obráběcím stroji, bez demontáže nástrojů z vřetene. Z provedených zkoušek byly vyvozeny následující závěry:

Všechny dodané korozivzdorné litiny vykazují dobrou obrobitelnost, v tomto pořadí od nejlépe obrobitelné k nejhůře – EN-GJS-AX Ni-22, EN-GJS-AX NiCr-20 2, EN-GJS-AX NiSiCr-35 5 2. Toto tvrzení lze podpořit časovým průběhem jednotlivých složek řezné síly, kdy docházelo pouze k jejich minimálnímu nárůstu, i minimálním opotřebením břitových destiček všech zkoušených frézovacích hlav. Zkoušené korozivzdorné litiny lze vybranými frézovacími hlavami obrábět za intenzivních řezných podmínek, kdy se řezná rychlost pohybuje v rozsahu  $v_c = 257 \div 365 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a posuvu na zub v rozsahu  $f_z = 0,229 \div 0,289 \text{ mm}$ . V tomto ohledu se osvědčily zejména nástroje firem Walter (osazené břitovými destičkami z materiálu WSP 45) a Pramet Tools (osazené břitovými destičkami z materiálu 2230). Co se týče třídy obrobitelnosti ověřovaných materiálů Ni-resist, může být pro potřeby softwaru v ŽDAS a.s. použita třída obrobitelnosti 12b, protože zkoušky jednoznačně potvrdily, že jde o celkem dobře obrobitelné materiály.

Výběr vhodného nástroje pro frézování daných austenitických korozivzdorných litin bude upřesněn nejen na základě technických, ale i ekonomických a dalších parametrů, které jsou časově proměnné (cena nástroje a břitových destiček, dodací lhůty, prodejní servis, dostupnost náhradních dílů, atd.).

## 8 ZÁVĚR

Zkoušky ukázaly za jakých podmínek lze vyrábět ve slévárně ŽDAS odlitky z austenitických niklových litin a které požadavky zákazníků lze splnit. Na základě provedených zkoušek byl vypracován technologický předpis výroby odlitků z austenitických niklových litin.

*Výzkumná práce vznikla za podpory projektů MPO Tandem - projekt č. FT-TA3/007, Výzkum a optimalizace výroby vysokolegovaných litin pro odlitky.*

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ROHRING, K.: *Konstruieren + Giessen* 18 (1993), Nr. 3, S. 4 až 29.
- [2] HUMÁR, A.: Technická zpráva č. VUT, FSI. „Rovinné frézování austenitických korozivzdorných litin“.
- [3] VLASÁK, T., HAKL, J.: Technická zpráva č. 8310024, SVUM „Creep austenitické tvárné litiny“.